



黎长龙,袁芳,江武军,等.蜜蜂王台产卵育王器设计及育王试验[J].江西农业大学学报,2022,44(1):159-165.
LI C L,YUAN F,JIANG W J,et al.A new queen-cell egg laying device for honeybee queen rearing and queen breeding test[J].Acta agriculturae universitatis Jiangxiensis,2022,44(1):159-165.

蜜蜂王台产卵育王器设计及育王试验

黎长龙^{1,2},袁芳³,江武军³,刘一博^{1,2},郑云林¹,刘光楠⁴,何旭江^{1,2*}

(1.江西农业大学 蜜蜂研究所,江西 南昌 330045;2.江西省蜜蜂生物学与饲养重点实验室,江西 南昌 330045;3.江西省养蜂研究所,江西 南昌 330052;4.江西省石城县农业农村局,江西 石城 342700)

摘要:【目的】蜜蜂是农作物最重要的授粉昆虫,也为人类提供营养丰富的蜂产品。近年来,世界各国均面临诸多压力而导致大量死亡。蜂王质量不断下降的现象,是引起蜜蜂大量死亡的重要因素之一,因此提高蜂王质量对养蜂业十分重要。【方法】根据蜜蜂生物学原理,设计发明了蜜蜂王台产卵培育优质蜂王的技术及设备。该育王设备包括王台产卵器、隔王栅、产卵巢框、便携式王台、育王框、挡板和旋转式育王条。通过控制蜂王在王台中直接产卵,培育优质蜂王,检测蜂王初生质量和形态指标。以传统人工移虫育王方法培育蜂王,作为对照组。【结果】王台产卵育王技术的王台接受率随着幼虫日龄的增长而下降,少量蜂王能正常出房,其王台接受率显著低于传统移虫育王;然而,蜜蜂王台产卵育王所培育的蜂王初生质量,后翅长和胸长均显著高于传统人工移虫所培育的蜂王。【结论】利用蜜蜂王台产卵育王技术培育蜂王可显著提高蜂王质量,为今后蜜蜂优质育种提供科学借鉴。

关键词:蜜蜂;王台产卵育王器;幼虫接受率;蜂王质量;初生质量;形态指标

中图分类号:S892.5;S894.5 **文献标志码:**A **文章编号:**1000-2286(2022)01-0159-07

A New Queen-cell Egg Laying Device for Honeybee Queen Rearing and Queen Breeding Test

LI Changlong^{1,2}, YUAN Fang³, JIANG Wujun³, LIU Yibo^{1,2},
ZHENG Yunlin¹, LIU Guangnan⁴, HE Xujiang^{1,2*}

(1.Honeybee Research Institute, Jiangxi Agricultural University, Nanchang 330045, China; 2.Jiangxi Key Laboratory of Honeybee Biology and Bee Keeping, Nanchang 330045, China; 3.Honeybee Research Institute of Jiangxi Province, Nanchang 330052, China; 4.Agricultural Rural Bureau of Shicheng County, Shicheng, Jiangxi 342700, China)

Abstract: [Objective] Honeybees (*Apis mellifera*) are the most important pollinating insects for crops, and they also provide nutritious bee products. Recently, honeybees have been facing a high mortality rate globally

收稿日期:2021-06-28 修回日期:2021-08-28

基金项目:国家自然科学基金项目(31702193)、江西省重点研发计划项目(20181BBF60019,20203BBFL63055)和江西省主要学科和技术带头人项目(20204BCJL23041)

Project supported by the National Natural Science Foundation of China(31702193), Key Research and Development Project of Jiangxi Province (20181BBF60019, 20203BBFL63055) and Jiangxi Provincial Academic and Technical Leader Project(20204BCJL23041)

作者简介:黎长龙, orcid.org/0000-0001-6588-4474, 1092906284@qq.com; *通信作者:何旭江, 副研究员, 博士, 主要从事蜜蜂生物学研究, orcid.org/0000-0001-7445-8944, hexujiang3@163.com。

due to various reasons. Among them, the decline of queen quality is an important factor. Therefore, improving the quality of honeybee queens is crucial for apiculture. [Method] This study developed a new queen-cell egg laying device for rearing high-quality honeybee queen Queen based on the biological mechanisms of honeybees. It included queen-cell ovipositor, queen excluder, ovipositor frame, queen cells, queen rearing frame, baffle and rotating queen rearing bars. This device caged the mother queen to lay eggs directly in the queen cells and rear high-quality queens. The birth weight and morphological indicators of newly emerged queens were measured and compared with those queens reared by traditional rearing practice. [Result] The results showed that the accepted rate of queen cells from the new device group decreased with the increase of the larval age. A small number of queens could successfully emerge. Its queen-cell accepted rate was significantly lower than that of the control group. However, the birth weight, hind wing length and thorax length of the queens from the new device were significantly higher than that of the control group. [Conclusion] This new device significantly increased the quality of honeybee queens, which could provide a scientific reference for high-quality honeybee breeding in the future.

Keywords: honeybees, queen-cell egg laying device; acceptance rate of queen cells; queen quality; birth weight; morphological indexes

【研究意义】蜜蜂是一种重要的经济昆虫,为全球85%以上的农作物授粉,在维护生态平衡和粮食安全方面起着重要作用^[1-2]。目前,全球蜜蜂面临巨大的生存压力,自2006年起,北美和欧洲相继出现了蜜蜂蜂群崩溃症,造成了大量的神秘死亡事件^[3-5]。近年来,北美地区的蜂群崩溃症有所缓解,但马里兰大学的最新调查发现,2006—2019年的美国蜂群冬季死亡率居高不下,在2018—2019年的冬季死亡率高达48%,为13年来最高水平^[6]。全球蜜蜂受到来自各方面的生存压力威胁,包括农药滥用、寄生虫迫害、病毒传播、环境污染以及单一作物种植引起的营养不均衡等因素。前人研究^[7]发现,蜜蜂不仅受各种外界环境压力的影响,不良的育种技术也可影响蜜蜂的发育与健康,降低蜜蜂自身免疫能力和生存能力。蜂王司职产卵,是蜂群内唯一具有完全繁育能力的雌性个体。蜂王是整个蜂群的核心,在蜂群发展中具有决定性的作用^[8]。蜂王的优劣直接影响整个蜂群的生长与繁衍。一只具有优良种质特性的蜂王,可显著提高蜂群的生产性能和抗病力,还能降低分蜂倾向及促进温驯性等。优质的蜂王产卵力较强,是保持蜂群强群的必备条件,可直接影响蜂群的产品产量与质量。【前人研究进展】Nickel Jacob首次发现利用工蜂巢房中的小幼虫可以培育出蜂王。此发现成为蜜蜂人工育种工作的开端^[8]。自1888年杜立特(Doolittle)发明并推广蜜蜂人工育王技术以来,该技术已在全球广泛使用超过100年的时间^[9]。该育王技术利用工蜂幼虫,通过人工移虫的方式培育蜂王。在自然状态下,蜂王幼虫在整个幼虫期均食用营养丰富的蜂王浆,而工蜂幼虫在1~3 d食用工蜂浆,4~6 d食用蜂蜜与花粉的混合物^[8]。目前,大量研究^[10-15]表明蜂王浆在糖、维生素、蛋白质和核酸方面均优于工蜂浆。因此,利用工蜂幼虫培育蜂王会造成蜂王在幼虫早期营养不良,从而影响后期的发育与质量。1923年瑞士学者鲁道夫·斯坦纳(Rudolf Steiner)预测:广泛使用人工移虫育王技术,可能会导致蜜蜂在100年内消失^[16]。前期研究^[7]发现,利用工蜂幼虫培育蜂王,其蜂王的初生质量和体型大小均会显著下降,且与蜂王发育、繁殖和免疫机能相关基因的表达发生显著变化,全基因组测序结果表明由工蜂幼虫培育的蜂王DNA甲基化水平明显上升。最新研究^[17]发现,人工移虫育王可引起蜂王DNA甲基化水平发生变化后,累代遗传给后代。这些研究结果表明传统的人工移虫育王技术会对蜂王的质量造成影响并且具有遗传效应,进而影响整个蜂群的生长与繁衍。

【本研究切入点】各类移虫育王的工具和技术的出现,如移虫铲、移虫笔、塑料王台等工具和复式移虫育王技术,促进了蜜蜂人工移虫育王技术的发展。曾志将等^[18]利用仿生学原理,发明了蜜蜂免移虫育王技术,该技术可利用工蜂巢房受精卵,与传统移虫育王相比,提高了蜂王的质量。蜂王在王台中产受精卵显著大于工蜂巢房的受精卵,所培育的蜂王质量也更高^[19]。【拟解决的关键问题】根据蜂王在王台中产卵的生物学特性,设计了一种西方蜜蜂(*Apis mellifera*)王台产卵育王设备,以期能提高蜂王育种的质

量。该设备包括产卵器、单个王台、王台条、产卵框、育王框和隔王栅等。将产卵蜂王直接幽闭在产卵器中,迫使蜂王在王台中直接产卵,再利用王台受精卵直接培育优质蜂王。此蜜蜂王台产卵育王设备培育出的优质高产、抗逆性和免疫力强的蜂王不仅为提高整个蜜蜂蜂群的生存繁衍能力以及蜂产品产量提供基础,也为保护和利用蜜蜂这一宝贵资源具有重要意义。

1 材料与方 法

1.1 试验蜂群

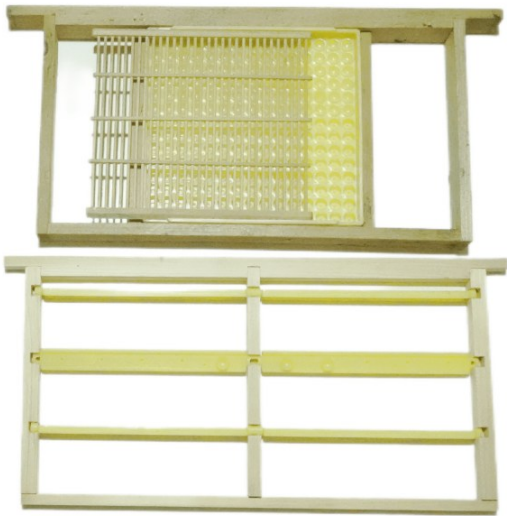
选取 3 群群势较强(10 足脾)的健康西方蜜蜂蜂群,按标准蜜蜂饲养方法,饲养于江西农业大学蜜蜂研究所。

1.2 试验材料

恒温恒湿培养箱(埃开仪器),分析天平(美国康州 HZ),蜜蜂形态指标测定系统(松下)。

1.3 王台产卵设备结构

图 1 为全套蜜蜂王台产卵育王设备。该技术设备已获得国家发明专利授权(专利号:ZL201710855463.X)。该设备包括王台产卵器、隔王栅、产卵巢框、便携式王台、挡板、旋转式育王条和育王框。

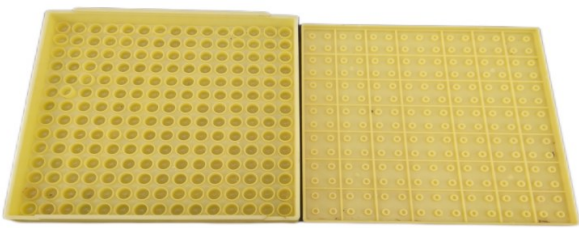


上:王台产卵育王框,下:育王框。
Top: queen-cell egg laying frame, bottom: queen breeding frame.

图 1 王台产卵育王设备实物全景图

Fig.1 The physical panorama of queen-cell egg laying device

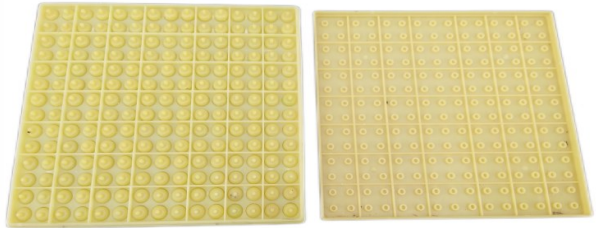
1.3.1 产卵器 如图 2 和 3 所示,王台产卵器为正方形结构,含 225 个王台孔,可插入单独的塑料王台。王台之间留有空隙,产卵器前端有卡槽,可将隔王栅从卡槽插入并固定。挡板含凸起点,其正中有凹槽,能固定王台并使王台与挡板保持垂直。挡板边框有凸起径条,可直接与产卵器底部扣紧。



左:产卵器,右:挡板;下:王台。
Left: ovipositor, right: baffle; bottom: queen cells.

图 2 产卵器正面

Fig.2 The front of the ovipositor



左:产卵器,右:挡板;下:王台。
Left: ovipositor, right: baffle; bottom: queen cells.

图 3 产卵器反面

Fig.3 The reverse side of the ovipositor

1.3.2 王台 该王台深度为8 mm,内径10 mm,壁厚1 mm。背部设有1 mm直径的圆柱,从王台底部至圆柱末端略有梯形变化。圆柱可直接插入挡板的凹槽,也可直接插入育王条的小孔。

1.3.3 旋转式育王条 育王条两端及中间为旋转式圆柱形,可直接卡入育王框,并可360°自由旋转,方便生产中安装,拆取和检查王台。每根育王条含有10个王台固定小孔。王台插入育王条后,再安装到育王框上,即可培育蜂王。



图4 王台
Fig.4 Queen cells



图5 旋转式育王条
Fig.5 Rotating queen rearing bar with queen cells

1.3.4 产卵巢框 产卵框长宽为标准朗式蜂箱巢脾尺寸,可直接用于蜂群中。在巢框中间设计了框架结构,该区域可直接放置并紧扣产卵器、隔王栅和挡板,不需要利用其它装置固定。巢框产卵区的两边区域可插入巢础,供蜜蜂造脾,培育工蜂。



图6 产卵巢框
Fig.6 Ovipositor frame

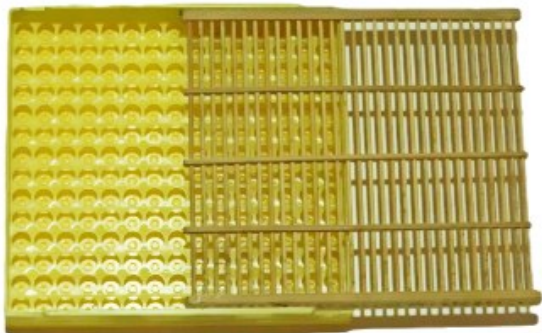


图7 隔王栅
Fig.7 Queen excluder

1.3.5 隔王栅 隔王栅缝隙宽度为4.7 mm,可允许工蜂通过而蜂王无法通过。隔王栅两端边缘设计45°的斜坡状,与产卵器相配套,刚好可与产卵器的卡槽吻合,可直接插入或拔出产卵器,达到快速幽王目的。

1.3.6 育王框 育王框可固定3条育王条。育王框垂直面有3根固定框架,框架含有可固定并可允许育王条旋转的槽口。

1.4 蜂王产卵和培育

在分蜂季节,先利用王笼幽闭产卵蜂王24 h。同时在产卵器和王台喷洒50%糖水,并放入蜂群清理24 h。将蜂王放入产卵器,放入蜂群进行王台产卵。由于不同蜂王在王台中产卵的意愿存在差异,幽闭蜂王的时间存在较大差异,因此首先通过预实验选取在王台中产卵欲望强的蜂王,被选取的蜂王放入产卵器中进行王台产卵12~15 h。蜂王在王台中产卵后,立即将带有卵的王台移入育王框,放入强群继箱进行育王。育王框两侧调入幼虫脾,以提高王台接受率。

将幽王产卵的蜂王放出产卵器后放入蜂群的空巢脾,再将蜂王限制在工蜂巢脾上产卵6 h。待这些工蜂卵成为2日龄幼虫后(30~36 h),利用移虫针将工蜂幼虫移入王台产卵育王中相同的王台,并放入相同的蜂群进行育王,形成对照组蜂王。



图8 育王框
Fig.8 Queen rearing frame

1.5 蜂王初生质量和形态指标测定

初生质量的测定:因蜂王出房后体质量会因身体水分丧失和进食等因素影响,因此,在蜂王出房前 1 d 放入恒温恒湿培养箱,待蜂王出房后半小时内,利用分析天平称取蜂王初生质量。实验组和对照组测定均 10 只蜂王。

翅长、翅宽长度测定:待蜂王初生质量测定后,立即获取蜂王的长翅。在蜜蜂形态指标检测系统下,测定蜂王的翅长与翅宽。

胸长、胸宽长度测定:取蜂王胸部,在蜜蜂形态指标检测系统下,测定蜂王的胸长与胸宽。重复 3 群,测定共计 60 只蜂王。

1.6 数据统计与分析

实验组和对照组的王台接受率数据采用 Statview 0.5.1 软件中的 kruskal-Wallis 进行比较分析。蜂王初生质量、翅长、翅宽、胸长和胸宽数据则通过 Statview 0.5.1 软件中的 one-way ANOVA test 进行比较分析。试验数据以“Mean±STD”表示, P 值小于 0.05 为差异显著, P 值大于等于 0.05 为差异不显著。

2 结果

2.1 王台产卵与传统人工移虫育王幼虫接受率

表 1 表明,王台产卵育王技术的王台接受率随着幼虫日龄的增长而下降,仅有少量蜂王能正常出房,并显著低于传统移虫育王($P<0.05$)。

表 1 两种育王方式的王台接受率

Tab.1 Acceptance rate of queen cells from two queen rearing methods

育王方式 Queen rearing methods	1 日龄幼虫接受率/% 1 d instar larvae acceptance rate	3 日龄幼虫接受率/% 3 d instar larvae acceptance rate	6 日龄幼虫接受率/% 6 d capping larvae acceptance rate	处女王出房率/% Queen emerging rate
王台产卵育王 Queen-cell egg laying method	42.70±9.25 ^a	17.70±4.94 ^a	8.70±5.58 ^a	3.30±2.36 ^a
人工移虫育王 Domestic queen rearing method	71.67±6.94 ^b	70.00±6.09 ^b	70.00±6.09 ^b	52.50±6.87 ^b

同列数据肩标字母不相同表示差异显著($P<0.05$)。
Date with different lowercase letters within a column indicated a significant 5% difference.

2.2 两种育王方式蜂王初生质量比较

表 2 表明,在南昌和永修两个试验蜂场利用蜜蜂王台产卵育王所培育的蜂王初生质量均显著高于传统人工移虫育王的蜂王($P<0.05$)。

表 2 两种育王方式的蜂王初生质量比较

Tab.2 Comparison of birth weight of newly emerged queens from two queen rearing methods

育王场地 Queen rearing apiaries	育王方式 Queen rearing methods	蜂王初生质量/mg Queen birth weight
南昌 Nanchang	王台产卵育王 Queen-cell laying methods	251.60±7.79 ^a
	人工移虫育王 Domestic queen rearing methods	224.11±21.09 ^b
永修 Yongxiu	王台产卵育王 Queen-cell laying methods	241.67±5.94 ^a
	人工移虫育王 Domestic queen rearing methods	226.72±9.66 ^b

2.3 两种育王方式蜂王形态指标比较

表 3 表明,蜜蜂王台产卵育王所培育的蜂王其翅长和胸长显著高于传统人工移虫育王的蜂王($P<0.05$),而前翅长、前翅宽、后翅宽和胸宽与人工移虫育王组蜂王差异不显著($P\geq 0.05$)。

表 3 两种育王方式的蜂王形态指标比较
Tab.3 Comparison of morphological indexes of newly emerged queens from two queen rearing methods

育王方式 Queen rearing methods	前翅长/mm Fore wing length	前翅宽/mm Fore wing width	后翅长/mm Hind wing length	后翅宽/mm Hind wing width	胸长/mm Thorax length	胸宽/mm Thorax width
王台产卵育王 Queen-cell egg laying method	10.24±0.43 ^a	3.00±0.19 ^a	7.40±0.24 ^a	2.16±0.11 ^a	5.38±0.13 ^a	4.64±0.30 ^a
人工移虫育王 Domestic queen rearing method	9.94±0.61 ^a	3.16±0.26 ^a	7.06±0.31 ^b	2.27±0.56 ^a	4.93±0.14 ^b	4.39±0.25 ^a

3 讨论与结论

蜜蜂人工移虫育王技术已在全球广泛应用 100 余年,促进了蜜蜂育种工作。然而,前人研究^[17]发现,人工移虫育王技术可显著降低蜂王的质量,对蜂王造成的影响可连续遗传多代。同时,研究^[19]发现蜂王在王台直接产卵显著大于工蜂巢房的卵,可培育出更优质的蜂王后代。研究根据蜂王在王台产卵的特性,设计了蜜蜂王台产卵技术设备,并进行了育王和蜂王质量评估实验。结果表明,蜜蜂王台产卵育王技术所培育的蜂王,其初生质量和形态指标(后翅长和胸长)显著高于传统人工移虫育王技术所培育的蜂王,表明蜜蜂王台产卵育王技术培育的蜂王质量更高。这与前期研究^[19]结果相一致。这是由于蜂王具有母体效应,在王台中产的卵更大更优(图 9),对蜂王的质量具有较好的促进作用。此外,王台卵孵化后由哺育蜂第一时间饲喂蜂王浆,而传统人工移虫育王,则在孵化后 1 日龄内采食工蜂浆。工蜂浆在糖类、维生素、蛋白质和核酸等成分上与蜂王浆存在明显差异,且饲喂量也远少于蜂王浆^[10-15]。这种营养差异也是王台产卵育王技术提高所培育蜂王质量的重要因素之一。

研究发现,蜜蜂王台产卵育王的王台接受率较低,且显著低于传统人工移虫育王。其主要原因有 2 个:第一,王台中的受精卵因发育不良会被工蜂清理。刘光楠等^[20]研究发现,利用塑料王台培育工蜂巢房的受精卵,其接受率仅为 60%~70%。塑料王台不利于保湿,可能导致受精卵和幼虫发育不良,最终被工蜂清理。第二,王蜂可能在王台中产部分未受精卵。因工蜂监督的作用,随着日龄增加,雄蜂卵及幼虫被清理。在试验过程中,将王台卵利用移卵针移入工蜂巢房,发现有部分卵发育成雄蜂,证实蜂王有在王台中产未受精卵的现象。前人研究^[21]发现蜂王利用触角和前足丈量不同的巢房直径,进而决定产受精卵或未受精卵。而研究发现蜂王在王台会同时产受精卵和未受精卵。因此,蜂王产受精卵或者未受精卵的生物学特性仍需进一步研究。

研究根据蜜蜂生物学特性设计了王台产卵育王技术设备,并通过试验培育出优质蜂王,与传统人工移虫育王质量相比有显著提高,在对蜜蜂优质育种工作有重要意义。然而,试验中也发现蜂王接受率低和产雄蜂卵现象,今后仍需对蜜蜂在王台中产卵的生物学特性进一步研究。因此,蜂王王台产卵特性及王台产卵技术仍需进一步优化。

参考文献 References:

[1] KLEIN A M, VAISSIERE B E, CANE J H, et al.Importance of pollinators in changing landscapes for world crops[J].Proceedings of the royal society B:biological sciences,2007,274(1608):303-313.

[2] 张祖芸,李震,吴志豪,等.2 种杀虫剂对舞蹈蜜蜂大脑转录组中可变剪切的影响[J].江西农业大学学报,2021,43(1):175-181.

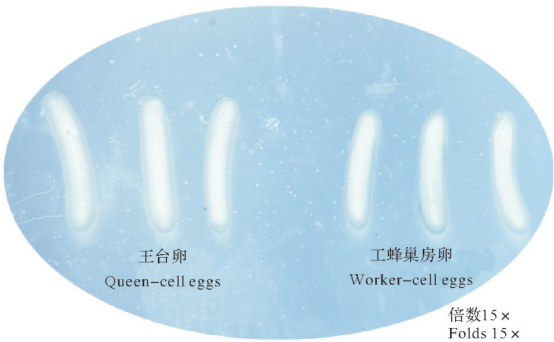


图 9 王台卵(左)与工蜂巢房卵(右)显微镜观察
Fig.9 Microscopic observation of queen-cell eggs(left)and worker-cell eggs(right)

- ZHANG Z Y, LI Z, WU Z H, et al. The Effects of Two Insecticides in the Transcriptome of the Brains of Dancing Bees on the Alternative Splicing[J]. *Acta agriculturae universitatis Jiangxiensis*, 2021, 43(1): 175-181.
- [3] MICHAEL B, RANDAL R, WALTER T. Honey bee colony mortality in the pacific northwest (USA) winter 2007/2008[J]. *American bee journal*, 2009, 149(6): 573-575.
- [4] STEINHAUER N, RENNICH K, WILSON M E, et al. A national survey of managed honey bee 2012—2013 annual colony losses in the USA: results from the bee informed partnership[J]. *Journal of apicultural research*, 2014, 53(1): 1-18.
- [5] VANENGELS DORP D, HAYES J J, UNDERWOOD R M, et al. A survey of honey bee colony losses in the United States, fall 2008 to spring 2009[J]. *Journal of apicultural research*, 2010, 49(1): 7-14.
- [6] MILIUS S U S. Honeybees had the worst winter die-off in more than a decade. [EB/OL] (2019-07-20) [2021-06-28], <https://www.sciencenews.org/article/us-honeybees-had-worst-winter-die-more-decade>.
- [7] HE X J, ZHOU L B, PAN Q Z, et al. Making a queen: an epigenetic analysis of the robustness of the honey bee (*Apis mellifera*) queen developmental pathway[J]. *Molecular ecology*, 2017, 26(6): 1598-1607.
- [8] 曾志将. 养蜂学[M]. 3版. 北京: 中国农业出版社, 2017.
- ZENG Z J. *Apiology* [M]. 3rd ed. Beijing: China Agriculture Press, 2017.
- [9] DOOLITTLE G M. Scientific queen-rearing[M]. Illinois: American Bee Journal, 1888.
- [10] HAYDAK M H. Honey bee nutrition[J]. *Annual review of entomology*, 1970, 1: 143-156.
- [11] ASECOT M, LENSKEY Y. The effect of sugar crystals in stored royal jelly and juvenile hormone on the differentiation of female honey bee larvae (*Apis mellifera* L.) to queens[C]. *Proceeding of 8th international congress of International Union for the Study of Social Insects*, 1977: 3-5.
- [12] ASECOT M, LENSKEY Y. Juvenile hormone induction of 'queenliness' on female honey bee (*Apis mellifera* L.) larvae reared on worker jelly and on stored royal jelly[J]. *Comparative biochemistry and physiology part B: biochemistry and molecular biology*, 1984, 78(1): 109-117.
- [13] BROUWERS E V M. Glucose/fructose ratio in the food of honeybee larvae during caste differentiation[J]. *Journal of apicultural research*, 1984, 23(2): 94-101.
- [14] BROUWERS E V M, EBERT R, BEETSMA J. Behavioural and physiological aspects of nurse bees in relation to the composition of larval food during caste differentiation in the honeybee[J]. *Journal of apicultural research*, 1987, 26(1): 11-23.
- [15] KAMAKURA M. Royalactin induces queen differentiation in honeybees[J]. *Nature*, 2011, 473(7348): 478-483.
- [16] THOMAS B. Bees-lecturers by Rudolf Steiner[M]. New York: Anthroposophic Press, 1998.
- [17] YI Y, HE X J, BARRON A B, et al. Transgenerational accumulation of methylome changes discovered in commercially reared honey bee (*Apis mellifera*) queens[J]. *Insect biochemistry and molecular biology*, 2020, 127(1): 103476.
- [18] 张波, 吴小波, 廖春华, 等. 蜜蜂免移虫技术研究与应用[J]. *中国农业科学*, 2018, 51(22): 4387-4394.
- ZHANG B, WU X B, LIAO C H, et al. Research and application of honeybee non-grafting larvae technology[J]. *Scientia agricultura Sinica*, 2018, 51(22): 4387-4394.
- [19] WEI H, HE X J, LIAO C H, et al. A maternal effect on queen production in the honey bee[J]. *Current biology*, 2019, 29(13): 2208-2213.
- [20] 刘光楠, 吴小波, 曾志将, 等. 不同育王方式对意大利蜜蜂王台接受率和蜂王质量的影响[J]. *山东农业科学*, 2011(3): 106-108.
- LIU G N, WU X B, ZENG Z J, et al. Effects of different methods for queen rearing on queen-cell accepted rate and queen quality in *Apis mellifera ligustica* [J]. *Shandong agricultural science*, 2011(3): 106-108.
- [21] KOENIGER N. Über die fähigkeit der bienenkonigin (*Apis mellifica* L.) zwischen arbeiterinnen- und drohnenzellen zu unterscheiden[J]. *Apidologie*, 1970, 1(2): 115-142.